

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

### DEVELOPMENT METHODOLOGIES QUALITY MANAGEMENT IRON PRODUCTS

Корчунов Алексей Георгиевич, Лысенин Александр Викторович  
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск  
agkorchunov@mail.ru

The system of performance management quality steel products with the use of mathematical models with elements of fuzzy logic, which describes the real situation taking into account the incompleteness and vagueness of the original information was offered. As a measure of the uncertainty of technological information is an entropy criterion. It shows the use of entropy in multioperational process metallurgy.

В условиях постоянного ужесточения требований потребителей к качеству продукции для предприятий металлургии жизненно важными являются вопросы обеспечения заданного уровня потребительских свойств новых и традиционных видов продукции на основе эффективного сочетания технологических методов обработки и управления показателями качества.

Для успешного решения задач по управлению качеством продукции при реализации металлургических технологий необходимо иметь математические модели, формально описывающие взаимосвязи между параметрами управления процессом обработки и показателями качества продукции. На рисунке 1 представлена классификация математических моделей для управления показателями качества металлургической продукции.

Проблемы получения всей необходимой для управления показателями качества информации и построения таких моделей значительно усложня-

ются для многооперационных технологических процессов металлургии, реализующих обработку с использованием методов различной физической природы: холодная пластическая деформация, горячая пластическая деформация, термическая обработка, химические методы и др. В свою очередь это обуславливает значительную немонотонность и разнонаправленность пооперационного изменения показателей качества продукции в ходе технологической обработки и усиливает неопределенность достижения требуемого уровня значений показателей качества продукции [1,2].

Основными источниками неопределенности могут выступать, как и нечеткость или расплывчатость информации, которая определяется не только отношениями между параметрами управления и показателями качества продукции, но и деятельностью человека – лица принимающего решения, так и разнонаправленное пооперационное изменение показателей качества продукции.

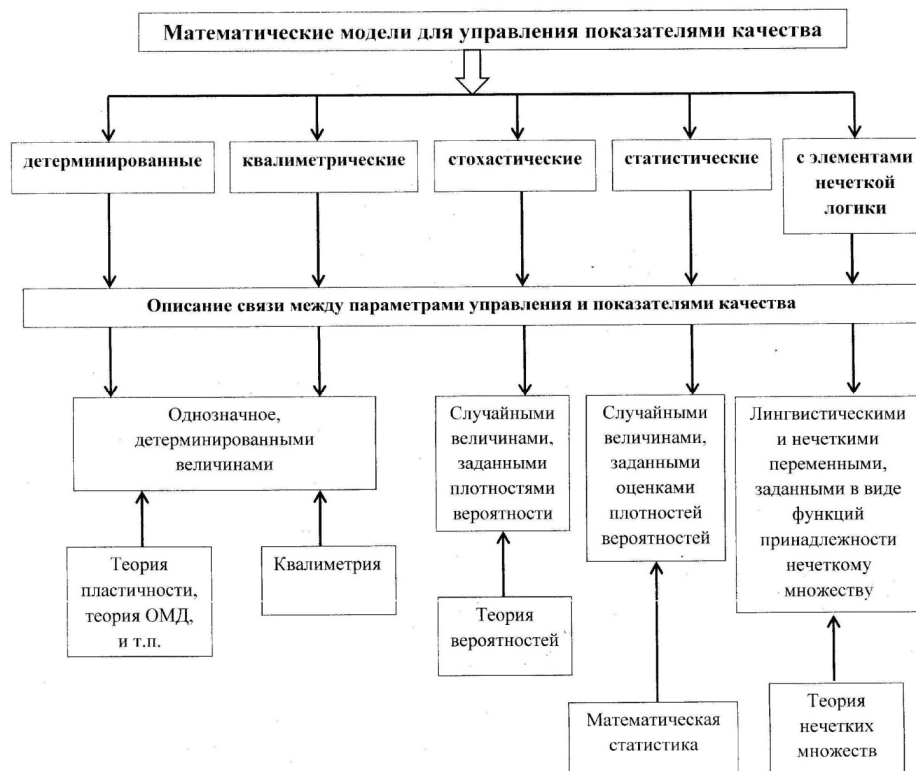


Рис. 1. Математические модели управления показателями качества металлургической продукции

При исследовании многооперационных процессов всегда присутствует неопределенность технологической информации, которую необходимо учитывать. При построении модели управления показателями качества металлургической продукции описание неопределённости может быть осуществлено следующими способами: стохастическое, статистическое, интервальное и нечеткое и

др. Выбор методов формализации технологической информации зависит главным образом от типа неопределенности, к которому относится решаемая задача.

На рисунке 2 представлена формализация процесса управления показателями качества металлургической продукции.

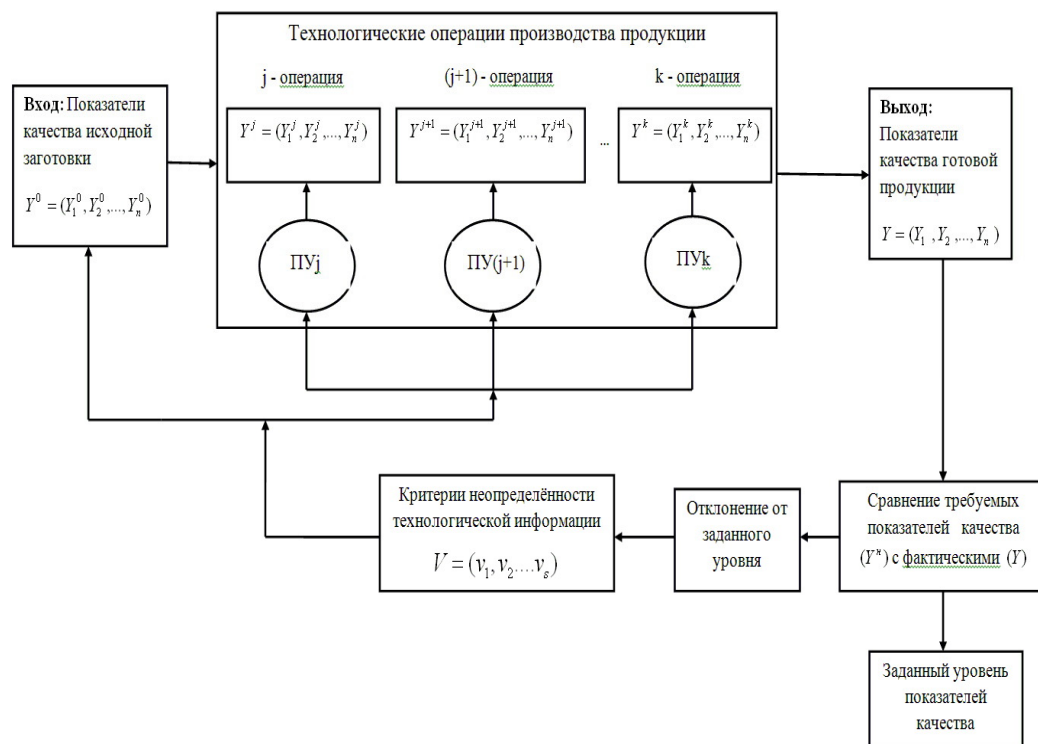


Рис. 2. Схема управления показателями качества металлургической продукции в условиях неопределенности

В формализованной схеме управления показателями качества металлургической продукции входные и выходные показатели качества, а также показатели качества металла и параметры управления после j-ой технологической операции представлены в виде универсальных множеств:

- Показатели качества исходной заготовки:  

$$Y^0 = (Y_1^0, Y_2^0, \dots, Y_n^0), \quad (1)$$

- где  $n$  - общее количество показателей качества металлического изделия.

- Фактически показатели качества продукции, полученные в результате реализации технологической обработки:

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n). \quad (2)$$

- Требуемые показатели качества готовой продукции согласно нормативно-технической документации:

$$Y^i = (Y_1^i, Y_2^i, \dots, Y_n^i). \quad (3)$$

- Показатели качества полупродукта после j-ой технологической операции:

$$Y^j = (Y_1^j, Y_2^j, \dots, Y_n^j), \quad (4)$$

- где  $j=1 \dots k$ ,  $k$  - общее число технологических операций.

- Параметры управления на j-ой технологической операции:

$$ПУ_j = (ПУ_{j1}, ПУ_{j2}, \dots, ПУ_{jl}), \quad (5)$$

где  $l$  - общее количество параметров управления.

С учетом неопределённости в математических моделях множества (1,2,4,5) могут задаваться различным образом. С позиции стохастической модели величинами заданными плотностями вероятностей. При использовании статистических моделей - величинами заданными оценками плотностей вероятностей. В моделях с элементами нечеткой логики - лингвистическими и нечеткими переменными, заданными в виде функций принадлежности нечеткому множеству.

В настоящее время стремительно развиваются методы математического моделирования на основе теории нечетких множеств, позволяющие преодолевать трудности, связанные с качественным характером, а также неполнотой и расплывчатостью информации. Применительно к технологическим процессам металлургии предложена последовательность структурной и параметрической идентификации математических моделей с элементами нечеткой логики для управления показателями качества продукции (рисунок 3).

Для осуществления структурной идентификации модели параметры управления технологическими процессами обработки и показатели качества продукции задаются в виде нечетких и лингвистических переменных [3].

Нечеткая переменная определяется как кортеж:

$$\langle \alpha, X, D \rangle, \quad (6)$$

где  $\alpha$  - наименование нечеткой переменной;  $X$  - ее универсум (область определения);  $D = \bigcup_{x \in X} \mu_D(x) / x$  - нечеткое множество, заданное на

$X$ , описывающее возможные значения нечеткой переменной  $\alpha$ , где  $x$  является элементом универсального множества  $X$ , а  $\mu_D(x)$  - функция принадлежности, ставящая в соответствие каждому из элементов  $x \in X$  действительное число из интервала  $[0,1]$ , посредством чего определяется степень принадлежности  $x$  к нечеткому множеству  $D$ .

Лингвистическая переменная формализуется следующим образом:

$$\langle \xi, T, X, G, M \rangle, \quad (7)$$

где  $\xi$  - наименование лингвистической переменной;  $T$  - множество ее значений (термов), каждое из которых является наименованием отдельной нечеткой переменной  $\alpha$ ;  $X$  - универсум нечетких переменных, входящих в определение лингвистической переменной  $\xi$ ;  $G$  - синтаксическая процедура, описывающая процесс образования из множества  $T$  новых, осмысленных для рассматриваемой нами задачи значений лингвистической переменной;  $M$  - семантическая процедура, позволяющая поставить в соответствие каждому новому значению лингвистической переменной, образованному процедурой  $G$ , осмысленное содержание посредством формирования соответствующего нечеткого множества.

При структурной идентификации модели общее количество входных и выходных лингвистических переменных, их наименование, определение для каждой лингвистической переменной количества и наименований термов, а также задание для них универсумов, обуславливается конкретной задачей по управлению показателями качества в процессах технологической обработки. Под входными переменными модели понимаются параметры управления процессом обработки, а выходные переменные соответствуют показателям качества продукции. С целью формализации взаимосвязи между параметрами управления и показателями качества изделий предложены математические модели, состоящие из совокупности логических правил управления в виде «если...то», условия и заключения в которых формулируются с использованием лингвистических переменных, характеризующих процесс управления показателями качества продукции.

Структура логического правила «если...то» при управлении показателями качества продукции формализуется выражением:

$$(i): A \Rightarrow B; S, F, \quad (8)$$

где  $(i)$  - номер правила, позволяющий однозначно его идентифицировать;  $A \Rightarrow B$  - ядро правила, в котором  $A$  - антецедент (условие),  $B$  - консеквент (заключение), " $\Rightarrow$ " знак логической секвенции (следствие);  $S$  - метод определения количественного значения степени истинности заключения ядра правила (метод композиции);  $F$  - вес правила, принимающий свое значение из интервала  $[0,1]$ .

В ядре правила в качестве  $A$  и  $B$  используются нечеткие лингвистические высказывания относительно значений тех или иных лингвистических переменных, характеризующих параметры управления и показатели качества продукции, в том числе и составные, соединенные логическими связками «и», «или», «не», а также с использованием модификаторов «очень», «более», «менее» и других.

Параметрическая идентификация модели осуществляется в два этапа. Первый этап включает определение параметров функций принадлежности для всех термов лингвистических переменных, формирование логических правил управления «если...то» и определение их весов. Определение параметров функций принадлежности термов лингвистических переменных на их универсумах осуществляется на основе заранее известного количественного значения выделенного признака в соответствии с семантикой наименований термов. Для входных лингвистических переменных в качестве такого признака выступают значения параметров управления процессом обработки, а для выходных - заданный уровень значений показателя качества продукции.

При формировании логического правила условие и заключение в нем интерпретируются как два нечетких множества  $A$  и  $B$ , заданных на универсумах соответствующих нечетких высказываний  $X$  и  $Y$  с функциями принадлежности  $\mu_A(x)$

и  $\mu_B(y)$ , а их взаимосвязь определяется как нечеткое отношение на декартовом произведении универсумов. Под нечетким отношением, характеризующим эту связь, заданным на универсумах  $X$  и  $Y$ , понимается нечеткое подмножество декартова произведения этих универсумов:

$$R = \bigcup_{(x,y) \in X \times Y} \mu_R(x,y) / (x,y), \quad (9)$$

где  $(x,y)$  - кортеж элементов, каждый из которых выбирается из своего универсума:  $x \in X, y \in Y$ ;  $\mu_R(x,y) \in [0,1]$  - функция принадлежности нечеткого отношения.

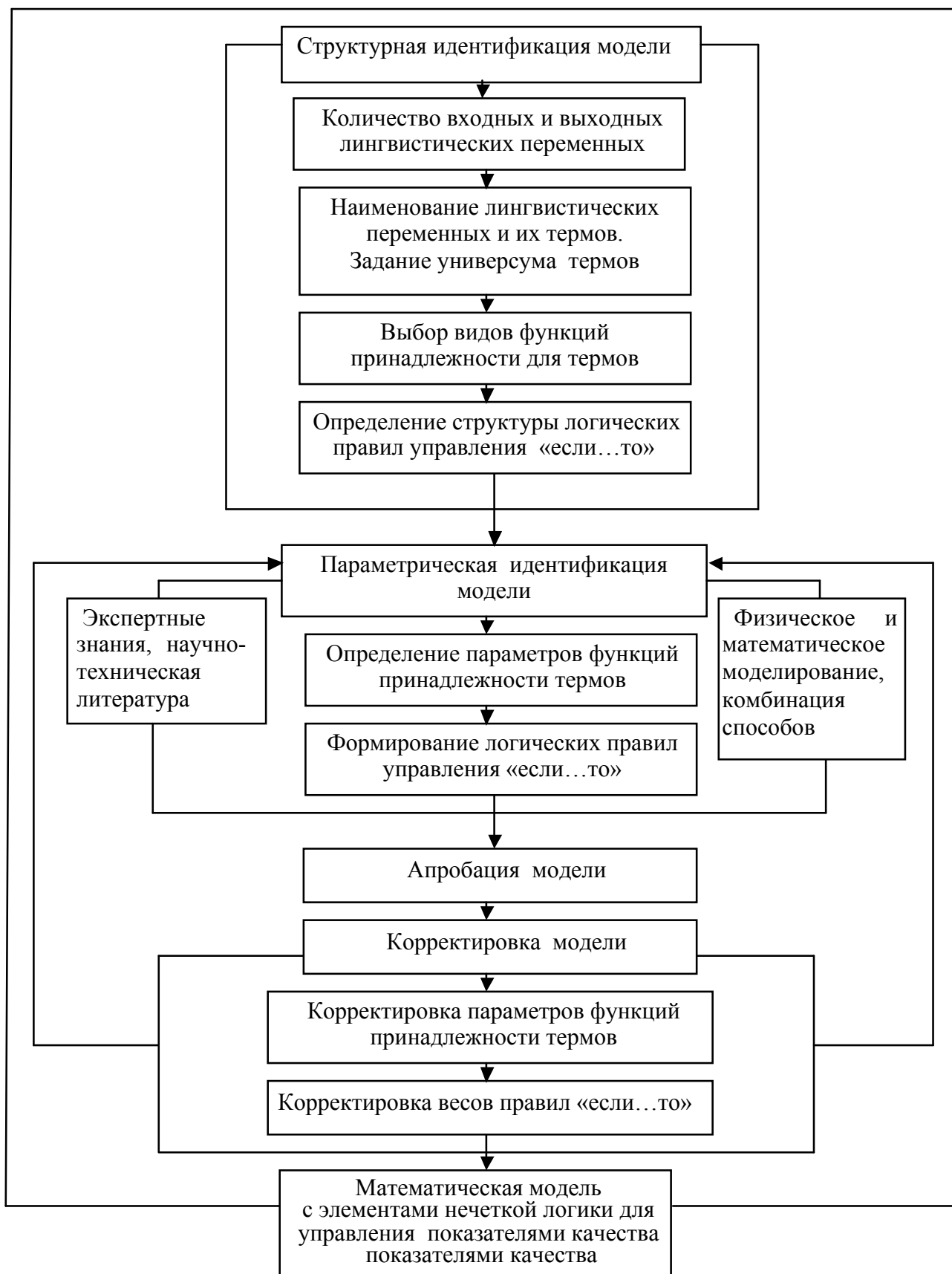


Рис. 3. Схема разработки математической модели с элементами нечеткой логики для управления качеством продукции

Определение нечетких отношений является центральным звеном в последовательности разработки математических моделей с элементами нечеткой логики. Исходная информация о количественной взаимосвязи между параметрами управления и показателями качества продукции, необходимая для определения нечетких отношений и формирования логических правил управления «если...то», может быть получена с помощью математического моделирования, путем экспериментальных исследований на натурном объекте или его модели, на основе опыта и знаний эксперта, обобщением сведений из литературных источников или комбинацией указанных способов [4].

Разработанные правила сводятся в единую базу, которая представляет собой конечное множество отдельных правил, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} (\bigcap_{i=1}^m \xi_i = a_{i,jp} \text{ с весом } F_{jp}) \rightarrow \omega_1 = a_j, j = 1 \dots z, \quad (10)$$

где  $i = 1 \dots m$  - количество входных лингвистических переменных, характеризующих параметры управления процессом обработки;  $\alpha_{1,jp}$  - терм, которым оценивается значение входной лингвистической переменной  $\xi_i$  в правиле с номером  $jp$  при

$p = 1 \dots k_j$ ,  $k_j$  - количество правил, в которых выходная лингвистическая переменная  $\omega_1$  оценивается значением  $\alpha_j$ ;  $Z$  - количество термов выходной лингвистической переменной, характеризующей показатель качества продукции.

Для работы с математическими моделями (10) адаптирован алгоритм принятия решений, включающий последовательность следующих операций: фаззификация входных переменных; агрегирование подусловий в логических правилах с использованием операции *min*-конъюнкции; активизация или композиция подзаклучений в правилах; аккумулярование заключений логических правил по методу *max*-дизъюнкции; выбор четкого значения нечеткой выходной переменной по методу центра тяжести композиции *максимум-минимум*.

Вторая стадия параметрической идентификации модели выполняется по результатам апробации и сопоставления результатов моделирования с фактическими данными, наблюдаемыми в производственных условиях, и включает корректировку параметров функций принадлежности термов лингвистических переменных и весов логических правил управления «если...то».

Для компьютерной реализации разработанных моделей согласно указанному алгоритму возможно использование специализированного программного обеспечения FuzzyTECH Professional, Fuzzy Logic Toolbox, FuzzyXL, FuziCalc и др.)

Данная система управления показателями качества металлургической продукции перспективна в наше время, так как в ней заложена абсолютно новая концепция управления показателями качества

продукции с использованием математических моделей с элементами нечеткой логики при формализации взаимосвязи между параметрами процесса управления, более адекватно описывающих реальную ситуацию с учетом неполноты и нечеткости исходной информации.

В данной системе управления показатели качества продукции и параметры управления задаются с помощью нечетких и лингвистических переменных, но в большинстве случаев все процессы металлургии работают с детерминированными величинами и для оценки неопределенности технологической информации необходимым становится разработка критериев, учитывающие данную неопределенность.

Для оценки неопределенности технологической информации в формализованной схеме управления показателями качества металлургической продукции (рисунок 2) введен ряд критериев, отражающих конечные результаты процессов формирования качества продукции. Данные критерии, по аналогии со множествами (1) – (5), объединены в единое универсальное множество и названы целевыми функциями объекта исследования:

- Множество целевых функций, характеризующих неопределенность технологической информации в управлении показателями качества:

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_s) \quad (11)$$

где  $s$  - общее количество критериев оценки неопределенности технологической информации.

В качестве примера целевой функции неопределенности технологической информации в управлении показателями качества металлургической продукции приведен критерий энтропии. В теории информации К. Шеннон ввел понятие энтропии в качестве меры количества информации, которое выражается через распределение вероятностей. Энтропия случайной величины является мерой ее неопределенности, т.е. количество информации, которое приобретается при устранении этой неопределенности (при выяснении случайной величины) [5]. Энтропия конкретно для производства металлургической продукции характеризует неопределенность параметров управления технологии и показателей качества продукции. Чем меньше неопределенность технологического процесса, тем он результативнее в плане получения готовой продукции с заданным набором потребительских свойств. Энтропия – это просто число, благодаря чему возможны измерения и сравнения неопределенностей множества показателей качества металлургической продукции. Энтропию можно представить как преобразователь, то есть на входе задается множество показателей качества, а на выходе формируется скалярная оценка неопределенности, связанной со всеми значениями этих показателей [6].

Энтропия случайной величины может быть оценена величиной:

$$H_\xi = - \sum_{\xi} p(\xi) \ln p(\xi), \quad (12)$$

где  $\xi$  – случайная величина;  $p(\xi)$  – распределение ее вероятностей.

В зависимости от математической модели, использующейся для управления показателями качества, формула энтропии может видоизменяться. С использованием нечетких множеств формула энтропии имеет вид:

$$H(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_R) = -\frac{1}{\ln R} \sum_{i=1}^R \mu_i \ln \mu_i, \quad (13)$$

где  $\mu_r$  – функция принадлежности показателя качества на интервале его значений;  $R$  – количество интервалов значений показателя качества.

Энтропия принимает значения в интервале от 0 и 1.

Так как производство металлургической продукции является многооперационным процес-

$$R_Y^j = \begin{bmatrix} \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_1^j)] [Y_{q1}^j - \mu(Y_1^j)] \} & : & \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_1^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_n^j)] \} \\ \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_1^j)] [Y_{q2}^j - \mu(Y_2^j)] \} & : & \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q2}^j - \mu(Y_2^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_n^j)] \} \\ \dots & & \dots \\ \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{q1}^j - \mu(Y_1^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_n^j)] \} & : & \frac{1}{Q^j-1} \sum_{q=1}^{Q^j} \{ [Y_{qn}^j - \mu(Y_n^j)] [Y_{qn}^j - \mu(Y_n^j)] \} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

где  $\mu(Y_n^j)$  – средние значения показателей качества после  $j$ -й технологической операции;

$Q^j$  – множество измеренных значений показателей качества после  $j$ -й технологической операции.

$$\mu(Y_n^j) = \frac{1}{Q^j} \sum_{q=1}^{Q^j} Y_{qn}^j, \quad (16)$$

С помощью соотношения (14) каждой ковариационной матрице, характеризующей разброс множества показателей качества после  $j$ -й технологической операции, ставится в соответствие скалярная величина-энтропия, которая служит мерой разброса или неопределенности всех величин показателей качества в целом.

Изменение энтропии показателей качества на  $j$ -й технологической операции производства определяется в виде:

$$\Delta H = \frac{H_{j+1} - H_j}{H_j} \cdot 100\%, \quad (17)$$

где  $H_{j+1}$  – энтропия показателей качества на  $j+1$  технологической операции;

$H_j$  – энтропия показателей на  $j$ -й технологической операции.

Уменьшение разброса значений показателей качества металлургической продукции от каждой предыдущей технологической операции к последующей, говорит об уменьшении неопределен-

сом, и формирование качества идет на каждой технологической стадии, то энтропия показателей качества после  $j$ -й технологической операции, может записана, следуя А.Н. Колмогорову [7], в виде:

$$H_j = \ln \sqrt{\det R_Y^j}, \quad (14)$$

где  $\det R_Y^j$  – определитель ковариационной матрицы (15).

Разброс значений показателей качества, отклонение фактических значений показателей относительно их средних значений после  $j$ -й технологической операции характеризуется ковариационной матрицей  $R_Y^j$ :

ности, поэтому, накладывается требование минимизации энтропии, а именно:  $\Delta H \rightarrow \min$ .

Уменьшение энтропии показателей качества от операции к операции свидетельствует о снижении отклонения значений показателей качества относительно их средних значений. Это благоприятно влияет на конечные свойства готовой продукции. Рост энтропии, наоборот, свидетельствует об увеличении отклонений значений показателей качества. На тех технологических операциях, где энтропия возрастает, должны корректироваться параметры управления с целью уменьшения неопределенности показателей качества. Если увеличение энтропии наблюдалось на всех технологических операциях, то необходимо изменять технологические режимы обработки или требования к показателям качества исходной заготовки.

При исследовании всего многооперационного процесса производства металлургической продукции энтропия позволяет сравнивать качество партий продукции, реализации различных режимов технологической обработки при производстве того или иного вида продукции.

В настоящее время проводятся работы по интеграции системы управления с элементами нечеткой логики в процессы управления качеством продукции в условиях ОАО «ММК-Метиз» г. Магнитогорск.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моделирование трансформации показателей качества металлических изделий в процессах обработки / Корчунов А.Г. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. №1. С. 76-78.
2. Применение адаптационных механизмов для повышения качества продукции с глубокой степенью переработки / Голубчик Э.М., Корчунов А.Г., Лысенин А.В., Пивоварова К.Г. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. №5. Том 7. С. 131 - 134.
3. Управление качеством металлургической продукции на основе моделей с элементами нечеткой логики/ Корчунов А.Г., Лысенин А.В.,// Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2011): труды IX Международной конференции (14-16 ноября 2011 г., Москва). М: ИПУ РАН, 2011.С.212-218.
4. Корчунов А.Г. Управление качеством метизной продукции на основе нечетких моделей описания технологической наследственности // Металлург. 2009. № 5. С. 50-53.
5. Шеннон К.Э. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике; пер. с англ.; под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. - М. : ИЛ, 1963. - 653 с.
6. Обобщенная мера оценки качества / Кузнецов Л.А. // Методы менеджмента качества. 2007. №4. С. 42-47.
7. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. –М. : Наука, 1987. – 304 с.